



⑯ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑯ Offenlegungsschrift  
⑯ DE 199 05 636 A 1

⑯ Int. Cl.<sup>7</sup>:  
F 02 B 29/04  
F 02 D 13/02

Mit Einverständnis des Anmelders offengelegte Anmeldung gemäß § 31 Abs. 2 Ziffer 1 PatG

⑯ Anmelder:  
DaimlerChrysler AG, 70567 Stuttgart, DE

⑯ Erfinder:  
Bischoff, Roland, Dipl.-Ing., 73655 Plüderhausen,  
DE

⑯ Entgegenhaltungen:  
DE 195 01 386 C2  
DE-PS 10 01 049  
DE 36 27 312 A1  
DE-OS 15 76 255

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑯ Verfahren zur Brennraum-Ladungstemperaturabsenkung

⑯ Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Absenkung der Brennraum-Ladungstemperatur vor Brennbeginn beim Betrieb einer Brennkraftmaschine mit Ein- und Auslaßventilen und optional mit einem Dekompressionsventil.

Erfnungsgemäß wird das Einlaßventil zur Erzielung einer Expansionsströmung während der Ansaugphase auf einen gegenüber seinem Maximalöffnungswert geringeren Öffnungswert eingestellt, bei Bedarf kombiniert mit einem frühzeitigen Schließen desselben noch vor Ende der Ansaugphase, oder zum Zurückschieben eines Teils der angesaugten Luftmasse in den Ansaugtrakt erst während der Kompressionsphase wieder geschlossen, oder das Auslaßventil oder ein Dekompressionsventil wird zur teilweisen Frischluftausblasung im Verlauf der Kompressionsphase während eines vorgebbaren Ausblaszeitraums geöffnet.

Verwendung z. B. beim Betrieb von Kraftfahrzeug-Brennkraftmaschinen mit Abgasturbolader, speziell im hohen Lastbereich, zwecks Stickoxidminderung.

DE 199 05 636 A 1

DE 199 05 636 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Absenkung der Brennraum-Ladungstemperatur vor Brennbeginn beim Betrieb einer Brennkraftmaschine mit Ein- und Auslaßventilen und optional mit einem Dekompressionsventil.

Derartige Verfahren sind insbesondere für Brennkraftmaschinen mit Abgasturboladern bekannt, und zwar in Form einer Kühlung der vom Turbolader verdichteten Ladeluft mittels eines Ladeluftkühlers und/oder einer anderweitigen Kühlleinrichtung, wie eines Klimaanlagen-Verdampfers, siehe die Offenlegungsschrift DE 36 20 754 A1.

Bei einem weiteren Ansaugluftkühlverfahren, wie es in der Offenlegungsschrift DE 31 35 791 A1 beschrieben wird, wird der gewünschte Abkühleffekt durch Kraftstofffeinspritzung in den Ansaugtrakt stromaufwärts des Turboladers bewirkt.

Eine weitere bekannte Technik zur Absenkung der Brennraum-Ladungstemperatur ist das sogenannte Miller-Verfahren, bei dem das Einlaßventil noch in der Ansaugphase um ein vorgebares Maß vor dem Beginn der Kompressionsphase geschlossen wird, wodurch die in den Brennraum gelangende Luftmasse entspannt und dadurch abgekühlt wird, siehe die Zeitschriftenaufsätze in NTZ Motortechnische Zeitschrift Bd. 31, 1970, S. 1 bis 10 und Bd. 38, 1977, S. 108 bis 112 sowie die Offenlegungsschrift EP 0 126 464 A1.

Die Absenkung der Ladelufttemperatur bewirkt im allgemeinen eine Erhöhung der Luftmasse ohne die Notwendigkeit der Anhebung des Ladedrucks mit der vorteilhaften Folge der Erhöhung des Verbrennungsluftverhältnisses bei verbesserten Partikelwerten. Die Erhöhung des Verbrennungsluftverhältnisses führt zur Verbesserung des inneren Wirkungsgrades aufgrund des geringeren Wandwärmevergangs, kann wegen der sich bei gleichbleibendem Ladedruck ergebenden Dichtesteigerung aber auch zur Steigerung des Verbrennungsmitteldrucks (Erhöhung der Einspritzmenge) bei gleichem Verbrennungsmaximaldruck ohne Verbrauchsverschlechterung benutzt werden. Die Ladeluftkühlung verringert die thermische Belastung der Brennkraftmaschine und leistet zudem einen wesentlichen Beitrag zur Erfüllung der Schadstoffgrenzwerte, insbesondere hinsichtlich Stickoxidemission.

Es ist bekannt, daß die Bedingungen zu Beginn der Verbrennung im Brennraum von wesentlicher Bedeutung für die Stickoxidbildung sind. Insbesondere legt die Temperatur der Brennraumladungsmasse bei Einspritzbeginn das Temperaturausgangsniveau der Stickoxidbildung fest. Daher ist eine möglichst tiefe Brennraum-Ladungstemperatur, d. h. Temperatur der in den Brennraum eingeleiteten Luftmasse, am Ende der Kompressionsphase wünschenswert, ohne dabei wegen des ansonsten schlechteren Kaltstartverhaltens und der Bildung von Weißrauch das Verdichtungsverhältnis verringern zu müssen.

Speziell auch bei Fahrzeuganwendungen ist die Leistungsfähigkeit der verwendbaren Ladeluftkühler durch den Einbauraum und die Tatsache begrenzt, daß die Temperatur der als Kühlmedium eingesetzten Außenluft die theoretische untere Grenze der Ladelufttemperatur darstellt. Zur Reduzierung der Stickoxidemissionen und gleichzeitigen Erzielung von Verbrauchsverbesserungen ohne die Notwendigkeit der Anwendung von häufig wirkungsgradverringern und partikelerhöhenden Maßnahmen wie Einspritzbeginn-Spätverstellung und Abgasrückführung ist jedoch eine Absenkung der Ladelufttemperatur merklich unter 40°C auf z. B. nahezu 0°C wünschenswert.

Der Erfindung liegt als technisches Problem die Bereitstellung eines Verfahrens zur effektiven Absenkung der Brennraum-Ladungstemperatur mit relativ geringem Auf-

wand zugrunde.

Die Erfindung löst dieses Problem durch die Bereitstellung eines Verfahrens mit den Merkmalen des Anspruchs 1. Bei diesem Verfahren wird eine Absenkung der Brennraum-Ladungstemperatur vor Beginn der Verbrennung dadurch erreicht, daß durch ein nur teilweises Öffnen des Einlaßventils bis zu einer seinen Ventileinlaßkanal nicht maximal, sondern nur teilweise freigebenden Stellung eine Expansionsströmung der in den Brennraum eingeleiteten Luftmasse und folglich eine Abkühlung derselben bewirkt wird oder daß durch verspätetes Schließen des Einlaßventils erst während der anschließenden Kompressionsphase ein Teil der zuvor in den Brennraum geleiteten Luftmasse wieder in den Ansaugtrakt zurückgeschoben wird, so daß auch in diesem Fall das wirksame Verdichtungsverhältnis gegenüber dem Expansionsverhältnis reduziert wird, oder daß das Auslaßventil oder ein gegebenenfalls vorhandenes Dekompressionsventil, wie es speziell bei Nutzfahrzeugmotoren als Bremsventil verwendet wird, zur teilweisen Frischluftausblasung im Verlauf der Kompressionsphase während eines vorgebbaren Ausblaszeitraums geöffnet wird, was wiederum zur Reduzierung des Kompressionsverhältnisses führt. In allen diesen Alternativen bewirkt das erfindungsgemäße Verfahren mit relativ geringem Aufwand eine wirksame Absenkung der Brennraum-Ladungstemperatur vor Brennbeginn. Das Verfahren läßt sich insbesondere für Brennkraftmaschinen von Kraftfahrzeugen mit Abgasturboladern anwenden, speziell im hohen Lastbereich.

Bei einem nach Anspruch 2 weitergebildeten Verfahren wird das nur begrenzte Öffnen des Einlaßventils auf einen gegenüber dem Maximalöffnungswert geringeren Öffnungswert mit einem verfrühten Schließen desselben noch in der Ansaugphase kombiniert, was die Saugwirkung weiter erhöht.

Vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung sind in den Zeichnungen dargestellt und werden nachfolgend beschrieben. Hierbei zeigen:

Fig. 1 ein Ventilhub-Kurbelwinkel-Diagramm zur Veranschaulichung eines Verfahrens zur Brennraum-Ladungstemperaturabsenkung durch nur teilweises Öffnen des Einlaßventils,

Fig. 2 ein Ventilhub-Kurbelwinkel-Diagramm zur Veranschaulichung eines Verfahrens zur Brennraum-Ladungstemperaturabsenkung durch Schließen des Einlaßventils erst während der Kompressionsphase und

Fig. 3 ein Ventilhub-Kurbelwinkel-Diagramm zur Veranschaulichung eines Verfahrens zur Brennraum-Ladungstemperaturabsenkung durch Öffnen des Auslaß- oder eines Dekompressionsventils während der Kompressionsphase.

In den Fig. 1 bis 3 sind anhand eines jeweiligen Ventilhub-Kurbelwinkel-Diagramms verschiedene Realisierungen eines Verfahrens zur Absenkung der Brennraum-Ladungstemperatur vor Brennbeginn beim Betrieb einer Brennkraftmaschine veranschaulicht. Die Brennkraftmaschine ist dabei von irgendeiner herkömmlichen Bauart, vorzugsweise mit Abgasturbolader, und kann insbesondere in einem Kraftfahrzeug verwendet sein. Jedem der meist mehreren Brennräumen der Brennkraftmaschine ist wenigstens je ein Einlaß- und Auslaßventil zum Einleiten der für den nächsten Verbrennungsvorgang benötigten Luftmasse bzw. zum Ausschieben der durch die Verbrennung erzeugten Verbrennungsgase zugeordnet. Speziell im Fall von Nutzfahrzeugen kann zudem in üblicher Weise ein normalerweise als Bremsventil fungierendes Dekompressionsventil vorgesehen sein. Für die gezeigten Beispiele ist eine Vierakt-Brennkraftmaschine angenommen, die veranschaulichten Verfahren zur Brennraum-Ladungstemperaturabsenkung können jedoch auch bei Brennkraftmaschinen mit an-

erer Taktzahl angewandt werden.

In den Fig. 1 bis 3 ist jeweils schematisch ein Brennraum-Arbeitsspiel der Viertakt-Brennkraftmaschine gezeigt, das aufeinanderfolgend aus einer vom unteren Totpunkt (UT) bis zum oberen Totpunkt (OT) des Kurbelwinkels andauernden Ausschiebephase, einer anschließenden, vom oberen Totpunkt (OT) bis zum unteren Totpunkt (UT) des Kurbelwinkels andauernden Ansaugphase, einer darauffolgenden, vom unteren Totpunkt (UT) bis zum oberen Totpunkt (OT) andauernden Kompressionsphase und einer nachfolgenden, vom oberen (OT) bis zum unteren Totpunkt (UT) andauernden Verbrennungs- und Expansionsphase besteht. Während der Ausschiebephase wird in üblicher Weise das Auslaßventil geöffnet, wie schematisch anhand eines typischen Auslaßventilhubverlaufs 1 dargestellt. Charakteristisch für die verschiedenen gezeigten Varianten des Verfahrens zur Absenkung der Brennraum-Ladungstemperatur ist nun speziell die Steuerung des Einlaß- oder Auslaßvents während der Ansaug- und der Kompressionsphase.

Beim Verfahrensbeispiel von Fig. 1 wird der Ventilhub des Einlaßvents gemäß einer schematisch gezeigten Kennlinie 2 nur teilweise geöffnet, d. h. nur bis zu einem Öffnungshub  $H_R$ , der kleiner als der voll öffnende, maximale Ventilhub  $H_M$  ist, bis zu dem das Einlaßventil im Fall eines zu Vergleichszwecken gestrichelt wiedergegebenen normalen Einlaßventilhubverlaufs 3 geöffnet wird, der symmetrisch zum ebenfalls voll öffnenden Auslaßventilhubverlauf 1 ist. Durch dieses nur teilweise Öffnen des Einlaßvents auf dem reduzierten Öffnungswert  $H_R$  wird die Luftmasse für den nächsten Verbrennungsvorgang in Form einer Expansionsströmung in den Brennraum geleitet, bei der das Einlaßventil als Entspannungsdüse fungiert. Das Einlaßventil ist zur Erfüllung dieser Entspannungsdüsensfunktion in einer herkömmlichen Weise geeignet ausgelegt, insbesondere mit einem geeigneten mechanischen oder elektrohydraulischen Verstellsystem versehen, mit dem die Steuerzeiten und der Hubverlauf des Einlaßvents in der Ansaugphase variabel so eingestellt werden können, daß ein zur Kühlung der in den Brennraum eingeleiteten Luftmasse führender Expansionseffekt in beliebiger, gewünschter Stärke erzeugt wird.

Der Brennbeginn des anschließenden Verbrennungsvorgangs findet folglich durch diese Art der Einlaßluftdrosselung auf entsprechend niedrigerem Anfangstemperaturniveau statt, wobei die Anfangstemperatur insbesondere deutlich unterhalb von  $40^\circ\text{C}$ , vorzugsweise sogar bis nahe  $0^\circ\text{C}$  liegen kann. Die Lufteinlaßdrosselung verringert den thermodynamisch wirksamen Kolbenhub im Ansaugtakt, wodurch sich der Liefergrad annähernd verlustfrei steuern läßt. Auf diese Weise läßt sich somit auch das wirksame Verdichtungsverhältnis auf einen gewünschten, vom Betriebszustand der Brennkraftmaschine abhängig wählbaren Wert variabel steuern.

Mit dieser Vorgehensweise ist es bei Vorhandensein eines Abgasturboladers möglich, einem zu hohen Ladedruck im höheren Drehzahl/Last-Bereich mit der Folge hoher Brennraumspitzendrücke und infolgedessen hoher Stickoxidbildungsraten entgegenzuwirken. Ein zu diesem Zweck herkömmlicherweise vorgeschenes sogenanntes Wastegate-Ventil, das Einbußen im Ausnutzungsgrad der Abgasenergie mit der Folge erhöhter Gaswechselarbeit und erhöhten Kraftstoffverbrauchs verursachen kann, kann entfallen. Der Grad der Einlaßtemperaturabsenkung wird vom Expansionsverhältnis am Einlaßventil, d. h. von der Stärke der Einlaßdrosselung, bestimmt. In Verbindung mit einem Aufladeverfahren, das einen hohen Aufladegrad besitzt, wie VTG, zweistufige Aufladung, Registerkonzepte, Comprex-Aufladung usw., und zudem eine Ladedruckregelung zuläßt, wel-

che insbesondere die hierfür wichtigen Betriebspunkte durch einen erhöhten Ladedruck und damit ein hohes Expansionsdruckverhältnis begünstigt, ist auf diese Weise eine hohe Stickoxidminderung erzielbar. Das Konzept der Luft-

5 einlaßdrosselung durch nur teilweise Öffnen des Einspritzventils auf einen steuerbaren, reduzierten Öffnungswert ist besonders für den Einsatz bei Brennkraftmaschinen mit Kraftstoff-Hochdruckeinspritzung mit weitgehend strahlinduzierter Gemischbildung geeignet, die keinen Einlaßdrall 10 zur Verbrennungssteuerung benötigen und beispielsweise in Nutzfahrzeugen verwendet werden.

In einer Variante wird das nur teilweise Öffnen des Einlaßvents in der Ansaugphase mit einem frühzeitigen Schließen desselben vor Erreichen des unteren Totpunktes

15 UT kombiniert. Ein entsprechender Einlaßventilhubverlauf ist in Fig. 1 als strichpunktlierte Kennlinie 4 gezeigt. Das Einlaßventil wird in diesem Beispiel bereits bei einem vor dem unteren Totpunkt UT liegenden Kurbelwinkelwert  $KW_R$  geschlossen, der ebenso wie der reduzierte Öffnungshubwert  $H_R$  je nach Betriebszustand der Brennkraftmaschine, insbesondere abhängig von deren Drehzahl- und Lastzustand, variabel eingestellt werden kann. Durch das frühzeitige Schließen des Einlaßvents wird während der restlichen Ansaugphase die in den Brennraum zuvor eingeleitete Luftmasse weiter entspannt und damit abgekühlt. Im übrigen gelten für diese Variante ebenso wie für die nachfolgend beschriebenen, weiteren Verfahrensbeispiele der Fig. 2 und 3 die zum oben erläuterten Verfahrensbeispiel angegebenen Vorteile hinsichtlich Verringerung der Stickoxidemissionen durch Absenkung der Brennraum-Ladungstemperatur entsprechend.

Bei dem in Fig. 2 illustrierten Verfahrensbeispiel wird nach konventioneller Steuerung des Auslaßvents in der Ausschiebephase vom unteren Totpunkt UT bis zum oberen

35 Totpunkt OT gemäß der schematisch gezeigten Auslaßventilhubkennlinie 1 das Einlaßventil in der anschließenden Ansaugphase zunächst gemäß der herkömmlichen Einlaßventilhubkennlinie 3 geöffnet, dann jedoch zum Ende der Ansaugphase hin nicht wie üblich bis zum Erreichen des unteren Totpunktes UT geschlossen, sondern weiter offen gehalten und erst im Verlauf der nachfolgenden Kompressionsphase geschlossen, wie schematisch durch eine zugehörige Einlaßventilhubkennlinie 5 wiedergegeben. Durch das während des anfänglichen Teils der Kompressionsphase noch offene Einlaßventil wird zuvor während der Ansaugphase in den Brennraum eingeleitete Luftmasse wieder in den Ansaugtrakt zurückgeschoben. Der Anteil an zurückgeschobener Ansaugluft kann durch die variable Wahl des Einlaßventil-Schliezeitpunktes zu einem zugehörigen Kurbelwinkelwert  $KWS$  nach dem unteren Totpunkt UT in jeweils gewünschter Weise eingestellt werden. Durch das teilweise Zurückschieben der zuvor vollständig angesaugten Luftmasse in den Ansaugtrakt wird das wirksame Verdichtungsverhältnis wie bei den oben beschriebenen Verfahrensbeispielen gegenüber dem Expansionsverhältnis entsprechend reduziert, was wiederum zur gewünschten Absenkung der Brennraum-Ladungstemperatur vor Brennbeginn führt, durch die sich die Stickoxidbildung vermindert.

Bei dem in Fig. 3 illustrierten Verfahrensbeispiel erfolgt

60 zunächst in der Ausschiebe- und in der Ansaugphase eine herkömmliche Ventilsteuerung durch Öffnen des Auslaßvents gemäß der herkömmlichen Auslaßventilhubkennlinie 1 während der Ausschiebephase und durch vollständiges Öffnen des Einlaßvents während der Ansaugphase gemäß 65 der herkömmlichen Einlaßventilhubkennlinie 3. Während der Kompressionsphase wird dann ein Teil der zuvor in den Brennraum eingeleiteten Luftmasse in den Abgastrakt ausgeblasen. Dies kann durch kurzzitiges, teilweises Öffnen

des Auslaßventils oder alternativ eines Dekompressionsventils, wenn vorhanden, erfolgen. Je nach Anwendungsfall bieten sich hierfür unterschiedliche Alternativen an, von denen in Fig. 3 zwei Varianten gezeigt sind in einer ersten Variante wird gemäß einer durchgezogenen gezeichneten Öffnungshubkennlinie 6 das Auslaß- bzw. Dekompressionsventil in einem frühen Teil der Kompressionsphase teilweise, d. h. bis auf einen variabel einstellbaren Öffnungshubwert  $H_A$  geöffnet, der kleiner als der maximale Öffnungshubwert  $H_M$  ist. In einer zweiten Variante wird das Auslaß- bzw. Dekompressionsventil während des späten Teils der Kompressionsphase gemäß einer gestrichelt gezeigten Öffnungshubkennlinie 7 teilweise geöffnet.

Es versteht sich, daß der Öffnungszeitraum und der Grad an Öffnung des Auslaß- bzw. Dekompressionsventils innerhalb der Kompressionsphase je nach Brennkraftmaschine und deren Betriebszustand variabel festgelegt werden können. Durch das kurzzeitige Öffnen des Auslaß- bzw. Dekompressionsventils wird ein Teil der schon mehr oder weniger komprimierten Frischladungs-Luftmasse vor der Verbrennungs- und Expansionsphase und damit vor Brennbeginn in den Auslaßtrakt ausgeschoben, so daß wiederum ein zur Abkühlung führender Expansionseffekt auftritt, durch den die Brennraum-Ladungstemperatur gesenkt und dadurch die Stickoxidbildung vermindert wird.

Es versteht sich, daß die oben beschriebenen Verfahrensbeispiele auch in geeignet kombinierter Form angewendet werden können, um die gewünschte Absenkung der Brennraum-Ladungstemperatur vor Brennbeginn durch den Luftmassen-Entspannungseffekt zu bewirken.

5

10

25

30

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Absenkung der Brennraum-Ladungstemperatur vor Brennbeginn beim Betrieb einer Brennkraftmaschine mit Ein- und Auslaßventil und optional mit einem Dekompressionsventil, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Einlaßventil zur Erzielung einer Expansionsströmung während der Ansaugphase auf einen gegenüber seinem Maximalöffnungswert ( $H_M$ ) geringeren Öffnungswert ( $H_R$ ) eingestellt wird oder zum Zurückschieben eines Teils des angesaugten Luftmasse in den Ansaugtrakt erst während der Kompressionsphase wieder geschlossen wird oder das Auslaßventil oder ein Dekompressionsventil zur teilweisen Frischluftausblasung im Verlauf der Kompressionsphase während eines vorgebbaren Ausblaszeitraums geöffnet wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, weiter dadurch gekennzeichnet, daß das Einlaßventil während der Ansaugphase auf einen gegenüber seinem Maximalöffnungswert ( $H_M$ ) geringeren Öffnungswert ( $H_R$ ) eingestellt und noch vor Ende der Ansaugphase frühzeitig wieder geschlossen wird.

35

40

45

50

---

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

55

60

65

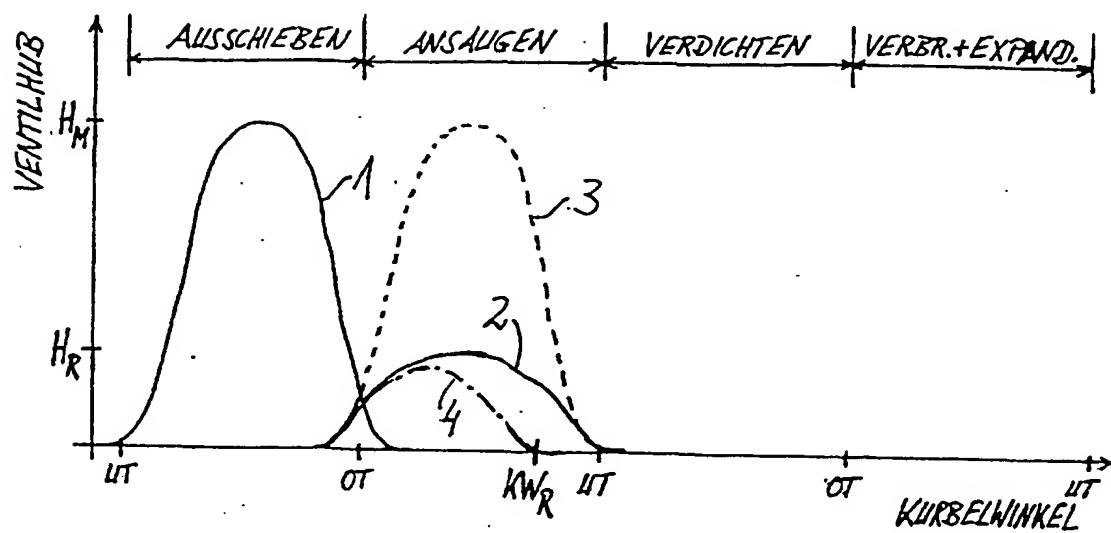


Fig. 1

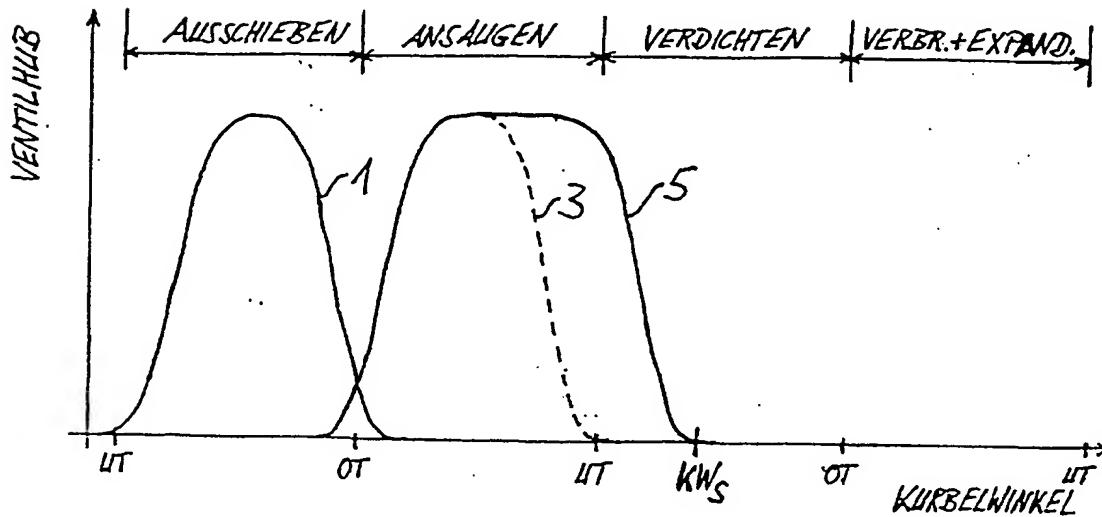


Fig. 2

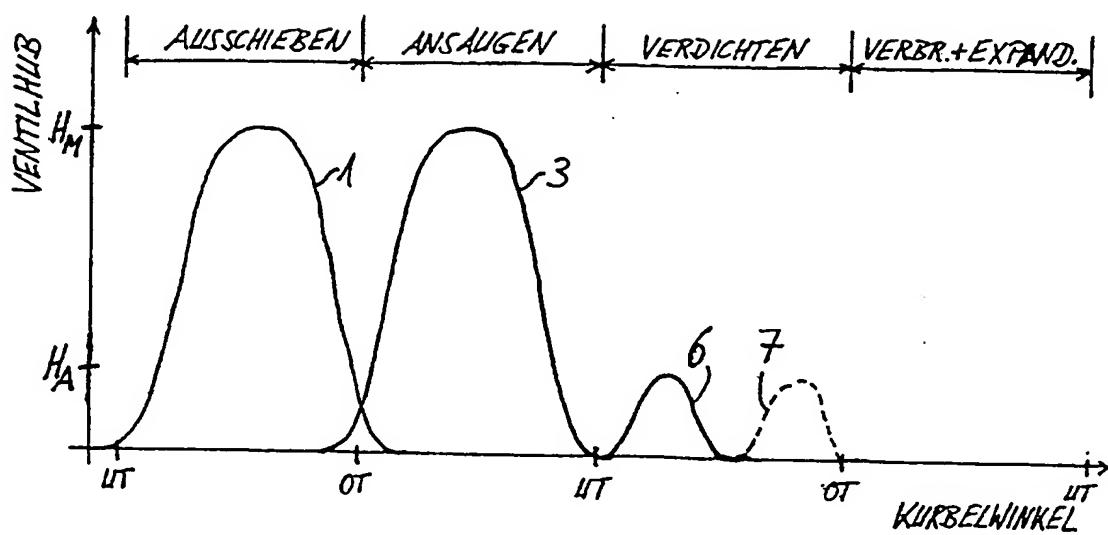


Fig. 3